

学校编码: 10384 分类号__密级__

学号: 22620061152382 UDC__

厦门大学

硕 士 学 位 论 文

城市水安全评价理论与方法

以厦门市为例

Water security assessment theory and method in urban area
Taking the example of Xiamen

陈 鑫

指导教师姓名: 曹 伟 教授

专 业 名 称: 环境管理

论文提交日期: 2009 年 5 月

论文答辩时间: 2009 年 6 月

学位授予日期:

答辩委员会主席: 薛雄志 教 授

评 阅 人: 赵景柱 研究员

崔胜辉 副研究员

2009 年 6 月

摘要

水被视为“生命之源”，是维持人类和一切生命系统生存和发展所不可缺少的；水之于我们生活的地球，犹如血液之于人的身体一般重要，没有水，就没有生命；因此，对水安全的保护，与对我们生命的保护同样重要。由此我们可以看出研究水安全的量化评价，对于促进城市水资源的可持续开发与合理利用，保障城市水安全、生态安全，推动城市的社会经济可持续发展都具有重要的理论指导意义与实践价值。本文具体研究内容如下：

删除的内容: 于

第一，从本文的研究重点——城市水安全承载力这一角度提出了水安全的定义。

第二，在研究国际国内可持续发展指标体系构建原则以及水安全评价指标体系的基础上，总结了适用于本文的水安全综合评价指标体系构建原则，并运用这一原则构建了分为 3 个层次，22 个评价指标这一适用于厦门等福建沿海城市的水安全综合评价指标体系。

第三，考虑到水安全这一系统的复杂性、模糊性，采用 Fuzzy 模糊集的改进形式——Vague 集来作为建立水安全综合评价模型的理论基础，总结了以往 Vague 集的研究成果，提出利用 Vague 值相似度判断的方法来构建城市水安全承载力评价模型。

删除的内容: 模型

删除的内容: 评价

删除的内容: 厦门

删除的内容: 承载力

删除的内容: 程度

删除的内容: 机遇

第四，实证研究了厦门市城市水安全 2003 年至 2007 年的各项指标，计算其评价价值与极限值的基于 Vague 值相似度，从而得到厦门市 2003 年至 2007 年水压力度，同时计算得出 2007 年福州、泉州市水安全压力度从而对厦门市水安全状况进行纵向及横向比较。

删除的内容: 状况

本文经实证研究、计算表明：厦门市水安全处于一个相对较安全状态，各年水安全状态波动不大；而其主要存在的问题是如何控制近两年人均用水量激增，以及如何改善厦门海域水质问题。

关键词：水安全承载力；指标体系；Vague 值相似度评价

Abstract

Water is regarded as "The Source of Life"; it is the essential for survival and development of the humanity and all life-support systems. Water for the planet earth, is just as blood for us human beings, no water, no lives. Therefore, to protect the water security, is as important as to protect our lives. From the discussion above we can see that the quantitative assessment of water security, is of great both theoretical and practical significance for promoting the sustainable development and rational use of urban water resources; protecting the urban water security and ecological security and promoting the socio-economic sustainable development of urban area. Specific research in this article is as follows:

First, proposed a new definition of water security from the emphasis of the research: Water Resources Carrying Capacity.

Second, this article summarizes the research results of sustainable development indicator system construction principles, and indicator system of water security assessment; to constructs an applicable construction principle.

Third, taking the complexity and uncertainty of water security system into account, this article use Vague set to substitute Fuzzy set, and proposes to use the similarity measures method between [Vague value](#) to evaluation the water security condition in urban area.

删除的内容: vague

Fourth, takes Xiamen city as an empirical study. Using the data of Xiamen city from 2003 to 2007, evaluates the water security condition of Xiamen. In the meanwhile, uses the evaluating results of Fuzhou city and Quanzhou city as comparison.

Finally, according to the calculation and discussion, this article holds that the water security condition in Xiamen city is relatively safe and stable; the main issues for attention are to control the water consumption per capita and improve water quality in gulf area.

Key words: Water Resources Carrying Capacity; Indicator system; Vague set
similarity measure assessment

目 录

摘要.....	I
Abstract.....	II
第一章 绪论.....	1
1.1 研究背景与意义.....	1
1.1.1 研究背景.....	1
1.1.2 研究意义.....	2
1.2 研究内容与研究方法.....	3
1.3 项目依托.....	3
第二章 国内外相关领域研究进展.....	5
2.1 国际常用指标.....	5
2.2 国内指标体系研究近况.....	7
2.3 评价方法研究概况.....	8
2.4 本章小结.....	10
第三章 城市水安全概述.....	11
3.1 城市水安全概念及特征.....	11
3.1.1 城市水安全概念及内涵.....	11
3.1.2 水安全的原则和城市水安全的基本特征.....	15
3.2 城市水资源承载力研究.....	17
3.2.1 水资源承载力的概念.....	17
3.2.2 水资源承载力的量化及度量方法.....	17
3.3 本章小结.....	20
第四章 城市水安全承载力综合评价指标体系.....	21
4.1 城市可持续发展概述.....	21
4.2 城市水安全承载力评价指标体系构建原则.....	22
4.3 指标选取.....	23
4.4 指标赋权研究.....	25

4.5 本章小结.....	26
第五章 基于 Vague 值的城市水安全评价.....	27
5.1 Vague 集概述	27
5.1.1 Vague 集概念	27
5.1.2 Vague 集运算	28
5.2 水安全承载力相似度模型.....	29
5.2.1 指标 Vague 值的确定方法.....	29
5.2.2 Vague 值相似度度量方法	30
5.3 基于 Vague 值的城市水安全综合评价实例研究	34
5.3.1 指标的简化及指标极限区间确定.....	34
5.3.2 指标 Vague 值的确定.....	36
5.3.3 指标 Vague 值权重的确定.....	40
5.3.4 厦门市水安全承载力综合评价.....	43
5.3.5 结果分析.....	45
5.4 本章小结.....	47
第六章 总结.....	49
6.1 文章总览	49
6.2 主要研究内容及创新点	50
6.3 不足与展望.....	51
参考文献.....	52

Catalog

Abstract (Chinese)	I
---------------------------------	----------

Abstract	II
-----------------------	-----------

Chapter 1 Preface	错误！未定义书签。
--------------------------------	------------------

1.1 Research background and significance.....	错误！未定义书签。
--	------------------

1.1.1 Research background	错误！未定义书签。
---------------------------------	-----------

1.1.2 Research significance.....	错误！未定义书签。
----------------------------------	-----------

1.2 Research contents and methods.....	错误！未定义书签。
---	------------------

1.3 Project relying	3
----------------------------------	----------

Chapter 2 Review at home and abroad	5
--	----------

2.1 Usually used international indexes.....	5
--	----------

2.2 Domestical index system research progress.....	7
---	----------

2.3 Assessment methods research progress.....	8
--	----------

2.4 Summary.....	10
-------------------------	-----------

Chapter 3 Urban water security theory	11
--	-----------

3.1 Definition and characteristics	11
---	-----------

3.1.1 Definition and connotation	11
--	----

3.1.2 Principles and characteristics.....	15
---	----

3.2 Urban water resources carrying capacity.....	17
---	-----------

3.2.1 Definition	17
------------------------	----

3.2.2 Quantization and measure methods	17
--	----

3.3 Summary.....	错误！未定义书签。
-------------------------	------------------

Chapter 4 Research of index system.....	错误！未定义书签。
--	------------------

4.1 Urban SD index system	错误！未定义书签。
--	------------------

4.2 Construction principles of index system.....	错误！未定义书签。
---	------------------

4.3 Index selection	错误！未定义书签。
----------------------------------	------------------

4.4 Index weighting research.....	错误！未定义书签。
--	------------------

4.5 Summary.....	错误！未定义书签。
-------------------------	------------------

Chapter 5 Urban water security assessment based on Vague set	错
--	----------

误！未定义书签。

5.1 Vague set outlines	错误！未定义书签。
-------------------------------------	------------------

5.1.1 Definition of Vague set	错误！未定义书签。
-------------------------------------	-----------

5.1.2 Calculation of Vague set	错误！未定义书签。
--------------------------------------	-----------

5.2 Vague set similarity measures model.....	29
5.2.1 Detemination methods	29
5.2.2 Similarity measures methods	错误！未定义书签。
5.3 Empirical study of urban water assessment based on Vague set.....	错误！未定义书签。
5.3.1 Indexes simplification and extreme value.....	错误！未定义书签。
5.3.2 Detemination of indexes Vague value.....	错误！未定义书签。
5.3.3 Indexes weighting of Vague value	错误！未定义书签。
5.3.4 Calculation and results	错误！未定义书签。
5.3.5 Result analysis	错误！未定义书签。
5.4 Summary.....	错误！未定义书签。
Chapter 6 Summary	错误！未定义书签。
6.1 Research contents.....	错误！未定义书签。
6.2 Conclusions and innovative points	50
6.3 Outstanding questions and perspective.....	51
References.....	错误！未定义书签。

第一章 绪论

“善为国者必先除其五害：水一害也，旱一害也，风、雾、雹、霜一害也，疠一害也，火一害也，此谓五害。五害之属水为大。”——《管子·度地》

1.1 研究背景与意义

1.1.1 研究背景

水被视为“生命之源”，是维持人类和一切生命系统生存和发展所不可缺的；水之于我们生活的地球，犹如血液之于人的身体一般重要，没有水，就没有生命。水资源作为一种特殊的自然资源，不仅对人民的生命和健康以及生态系统至关重要，而且也直接影响到一个国家的发展。

删除的内容: 其

删除的内容: 关系

水安全问题很早以前人类就十分关注，并以洪水为主要表现形式，东方的大禹治水以及西方的诺亚方舟就是证明。自公元十七世纪工业革命以来，随着人口、科学技术以及经济的快速发展，人类面临越来越严重的水安全问题：水资源短缺、水环境污染、洪涝、干旱等。特别是进入二十世纪以后，科技革命为人类社会打了一剂强心针，人类社会的科技和经济得到了突飞猛进的发展；但是，与之相伴的是人类不断增长的对水的需求和对水资源空前地利用。借助发达的水利科学知识和工程技术手段，人类大规模地建库蓄水、开挖运河，这些水利工程大大改变了原有的水资源的时空分布。日益严重的水资源危机已经成为全球性的问题，引起了人类社会的普遍关注。

联合国开发计划署估计，每年死于腹泻的人数比死于军事冲突的要高 6 倍，而饮用不干净的水是导致腹泻的主要原因^[1]。每年斯德哥尔摩都召开国际会议讨论水资源问题，2000 年会议的主题是“21 世纪的水安全”，它与 2000 年 3 月“海牙部长级宣言”的标题完全一致，这决不是一种巧合，这正说明水安全问题已成为世界问题，引起了世界各国的关注。世界上 1/5 的人没有安全饮用水，40% 的人缺乏基本的水设备，全世界有 11 亿人没有干净饮用水，而高达 26 亿人则由于没有足够的卫生设施而要忍受疾病的折磨^[2]。人类可利用的淡水资源仅占全球总

水量的 0.26%，加上分配不均，每年有 310 万人因饮用不洁水而死亡。联合国环境规划署指出，如果人类不改变目前的消费方式，预计到 2025 年，全球 2/3 的人口将生活在不同程度的缺水地区，50 亿人生活在用水难以完全满足需要的地区，其中 25 亿人将面临用水短缺^[3]。

我国是一个干旱、缺水严重的国家。淡水资源总量为 28000 亿立方米，占全球水资源的 6%，居世界第四位，但人均水资源量仅有 2300 立方米，为世界平均水平的四分之一，在世界上名列 121 位，是全球 13 个人均水资源最贫乏的国家之一。我国不仅淡水资源稀少，并且时空分布极不均衡，洪涝、干旱灾害频繁发生。到 20 世纪末，全国 600 多座城市中，已有 400 多个城市存在供水不足问题，其中比较严重的缺水城市达到 110 个，全国城市缺水总量为 60 亿立方米。此外，据监测，目前全国多数城市地下水受到一定程度的点状和面状污染，日趋严重的水污染不仅降低了水体的使用功能，进一步加剧了水资源短缺的矛盾，而且还严重威胁到城市居民的饮水安全和人民群众的健康。

1.1.2 研究意义

城市水环境安全简称水安全，他与整个区域乃至国家的水资源系统安全密切相关。所有的生态与环境问题都是人类的生存问题，城市缺水与水污染不仅使得城市生态安全不复存在，而且直接影响生命的生存。水环境是城市生态环境系统中最活跃、影响最广泛的要素，被认为是城市生态环境的重要组成部分，是城市产业生产中不可替代的重要资源。水环境的不安全已成为制约城市生态安全的瓶颈，并且已成为阻碍城市经济发展的重要因素之一^[4]。

曾畅云、李贵宝等^[5]归纳总结当前与水安全有关的研究，从注重水环境水质和水量统一体的角度出发，提出了水环境安全的概念，认为水环境安全既要考虑人类自身和人类群际关系的安全，同时也要注重水环境本身的安全；并进一步阐述了水环境安全的内涵与外延，分析了其全球性、综合性、动态性、系统性、两重性等特性；最后指出了当前水环境安全研究的热点和难题。

目前，城市水安全的综合评价仍然处于起步探索阶段，定性的概念、内涵以及政策方面的探讨较多，定量研究较少。因此，本文在探讨城市水安全评价基本理论及方法的基础上，建立城市水安全评价指标体系，运用基于 Vague 集的水安

删除的内容：(2004)

删除的内容：的

删除的内容：为

全承载力综合评价方法评价厦门市水安全现状，并与周边同类城市进行对比。这对于促进城市水资源的可持续开发与合理利用，保障城市水安全、生态安全，推动城市的社会经济可持续发展都具有重要的理论指导意义与实践价值。

删除的内容：于

1.2 研究内容与研究方法

本文在学习国内外城市水环境安全评价指标体系和评价研究方法研究进展的基础上，从水环境安全概念及其内涵入手，描述城市水安全的特征。并研究城市水安全承载力概念及其度量方法，借鉴可持续发展指标体系的研究以及与用水压力相关的一系列评价指标研究，构建水环境安全评价的指标体系。指标体系建成后，对所采用的 Vague 集进行概念、计算等描述，建立基于 Vague 值的水安全承载力相似度量模型；对厦门市 2003 年到 2007 年水环境安全承载力进行评价，并对比福州市和泉州市 2007 年评价值，最终对厦门市城市水资源综合安全作出评价，在分析评价结果的基础上，对如何提高厦门市城市水安全程度提出建议。

删除的内容：；

本文对厦门市城市水安全承载力评价的技术路线如图 1.1 所示。

本文在收集各初选评价指标的基础上，运用主成分分析法做为筛选原理，SPSS 统计软件做为筛选工具，选取典型指标。各指标临界区间主要采用联合国对可持续发展评价临界区间值，同时考虑到国内发达城市以及发达国家所采用的该项指标均值来确定指标临界区间。

评价模型建立可分为：指标 Vague 值确定方法分析，指标 Vague 值相似度量方法研究，以及指标 Vague 值相似度量模型的构建。

删除的内容：指标

1.3 项目依托

论文依托的项目是国家自然科学基金“城市生态安全及其预警系统——以福建沿海城市群为例”有关城市水安全的一部分，由厦门大学建筑与土木工程学院承担完成。本文选取厦门市为例，对其水环境安全及其评价方法进行研究。

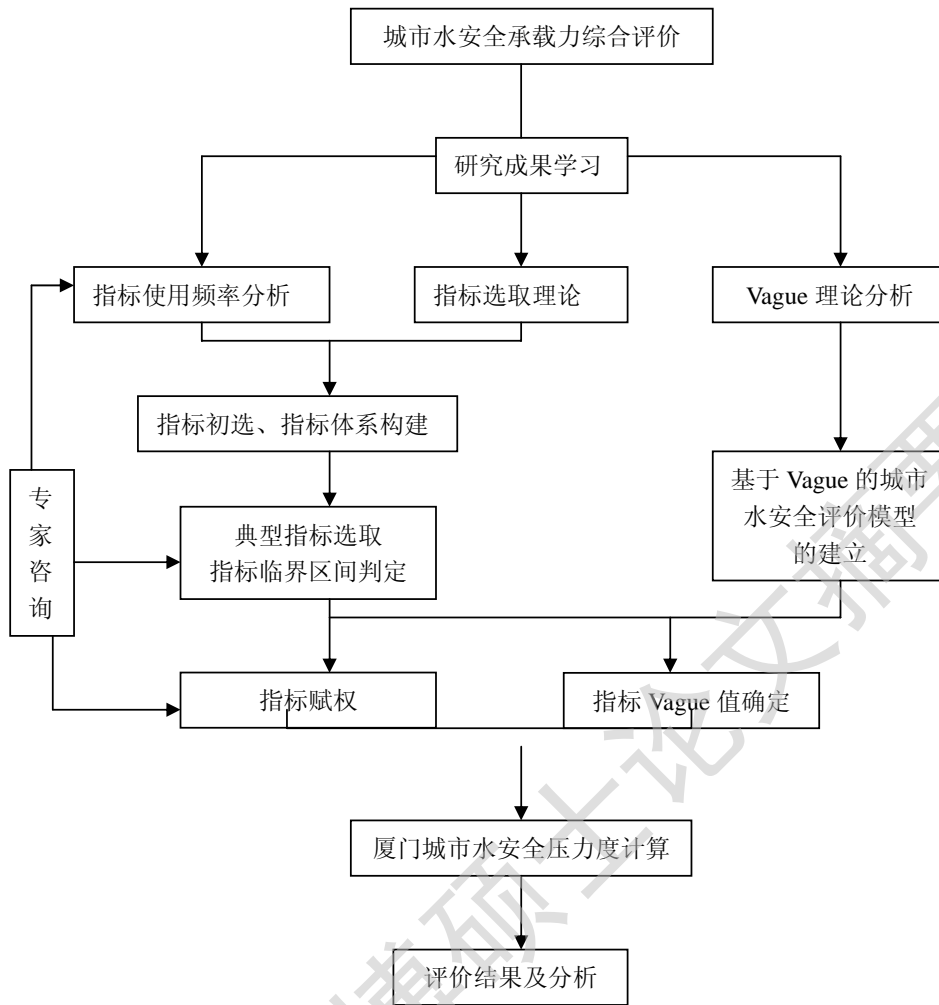


图 1. 1 技术路线
Fig. 1.1 Technology roadmap

第二章 国内外相关领域研究进展

2.1 国际常用指标

目前，国际上主要采用以下几种方法来衡量水安全状况：

一是 1992 年 Falkenmark 和 Widstrand 提出的以人均水资源量来度量区域水资源稀缺程度^[6]。他们根据干旱区中等发达国家的人均需水量确定了人均水资源的临界值：当人均水资源量低于 1700 m³ 时出现水资源紧缺，当人均水资源量低于 1000 m³ 时出现重度水资源短缺，当人均水资源量低于 500 m³ 时出现极度水资源短缺，他们研究确定了这一指标以判别各国以及区域水资源紧缺与安全状况。这一指标被称为水紧缺指标(Water stress index)。

表 2. 1 水紧缺指标	单位：m ³
Tab. 2.1 Water Stress Index	Unit: m ³
人均用水量	余缺程度
>3000	丰水
2000~3000	轻度缺水
1000~2000/1700	中度缺水
500~1000	重度缺水
<500	极度缺水

资料来源：Malin Falkenmark, Population and Water Resources: A Delicate Balance, 1992

二是用水资源开发利用程度，即年实际取用的淡水资源量占可获得的（可更新）淡水资源总量的百分率来衡量水资源紧缺程度。指标的阈值或标准根据经验确定，当水资源开发利用程度小于 10% 时为用水低度紧张，当水资源开发利用程度大于 10%、小于 20% 时为用水中度紧张，当水资源开发利用程度大于 20%、小于 40% 时为中高度紧张，当水资源开发利用程度大于 40% 时为高度紧张。

表 2. 2 用水紧张分类指标
Tab. 2.2 Water Pressure Index

淡水利用程度	紧张程度	问题描述
<10%	低度紧张	用水不是限制因素
10%~20%	中度紧张	可用量开始成为限制因素，需要增加供给，减少需求
20%~40%	中高度紧张	需要加强供需管理，确保水生态系统有充足的水流量，增加水资源管理投资
>40%	高度紧张	供水日益以来地下水超采和咸水淡化，继续加紧供需管理。严重缺水已成为经济增长的限制因素，现有的用水格局和用水量不能持续下去。

资料来源：张俊艳、城市水安全综合评价理论与方法研究、2006

以上两种水安全评价指标简单易行，但是仅关注于水资源的水量特征，而对于水资源的水质特征、水环境以及由此产生的社会、经济、生态等安全问题没有给予必要的关注，因此过于粗略。

2002 年，英国生态与水文研究所(The Centre for Ecology & Hydrology, CEH)的 Caroline Sullivan 等人提出一种类似于消费指数(Consumer Price Index, CPI)的水贫穷指数(Water Poverty Index, WPI)^[7]。他们所提出的 WPI 由资源(Resource - R)、途径(Access - A)、利用(Use - U)、能力(Capacity - C)和环境(Environment - E)五个分指数组成，它主要用于反映水资源短缺对人类的影响，并为建立水安全保障体系提供必要的水资源及社会经济综合发展信息。

一般情况下，水贫困指数的数学表达式为：

$$WPI = \frac{\sum_{i=1}^N w_{x,i} X}{\sum_{i=1}^N w_{x,i}} \quad (2-1)$$

式中：WPI 为某地区的水贫困指数值；w 为 WPI 分指数 X 的权重；X 为该地区分指数，即资源(R)，途径(A)，利用(U)，能力(C)，环境(E)。

这样可以保证 WPI 的取值在 0-100 之间。

通过收集并进行大量的数据处理，在征询专家意见进行修正之后，该指标体系可以有效的反映一个地区的水贫困状况，但是我国目前水安全相关基础数据信

息不完备，资料收集困难，因此此方法可操作性较差。

表 2. 3 WPI 指标及其数据要求
Tab. 2.3 WPI Index and Data Requirement

WPI 分指数	数据源
资源(R)	地表水、地下水、水质和可靠性数据，土壤含水量
途径(A)	家庭的供水和卫生途径，灌溉设施，谷物、粮食的进口途径（“虚拟水”的一种度量）等。
利用(U)	每年的工农业部门用水，家庭用水及总用水，家畜用水，不同工业部门的用水效率等。
能力(C)	家庭消费水平，人均 GDP，教育程度，水行业的投资情况，有关的法律和机构等。
环境(E)	生态环境，生物种类，水体污染，水土流失，洪水风险等。

资料来源：Caroline Sullivan, The Centre for Ecology & Hydrology, 2002

2000 年荷兰海牙的“第二届世界水论坛及部长级会议”中指出世界范围内的水安全指标为：

(1) 2005 年 75% 的国家，2015 年 100% 的国家，实施水资源统一管理的政策和策略；

(2) 2015 年没有卫生设施的人数减少一半；

(3) 2015 年喝不到安全饮用水的人数比现有人数减少一半；

(4) 2015 年粮食生产用水效率提高 30%；

(5) 2015 年洪泛区遭受洪水威胁的人数减少一半；

(6) 2005 年 100% 的国家制定保护生态系统的国家标准^[8]。

Mauricio 和 Rosa 等^[9]认为一个地区的水资源状况不仅仅和其所处的地理环境有关，还和这一地区利用水资源的科技水平有关，因此他们提出了运用地理—科技指标来表征某一地区水资源状况。

2.2 国内指标体系研究近况

2000 年 3 月的荷兰海牙世界部长级会议及 2000 年 8 月瑞典斯德哥尔摩世界

水讨论会议上提出全世界面临的水安全挑战为：“满足基本需求、保证食物供应、保护生态系统、共享水资源、控制灾害、赋予水价值、合理管理水资源”等 7 个方面，与这些挑战相结合。国内学者对城市水安全评价指标体系也进行了初步的研究探讨。

韩宇平、阮本清^[10]提出了一个由 7 个二级指标、17 个三级指标、106 个四级指标构成的水安全综合评价指标体系，较全面的涵盖了区域水安全的内涵。曾畅云、李贵宝^[11]在可持续发展指标体系研究的基础上，运用“压力(Pressure)一状态(Situation)一响应(Response)” (PSR)概念模型建立了水环境安全评价指标体系。

史正涛、刘新有^[12]将城市水安全系统分为支持子系统、协调子系统、发展子系统，构建了由 7 个状态层和 16 个具体指标组成的城市水安全评价指标体系。杨开、

王洪禧^[13]针对传统层次分析法(AHP)赋权过程难以精确给出元素间相对重要性判断且一致性检验计算量较大的缺点，将传统 AHP 方法中构造比较矩阵的九标度法改为三标度法，并采用自调节方法建立比较矩阵，然后将其转化成一致性判断矩阵。

综上所述，对于评价城市水环境安全的指标体系，国内和国际上都还处于初始探索阶段，目前还没有较为公认的能够充分反映水安全的一个指标体系，在深入讨论城市水安全概念与内涵的基础上，构建一个较为能被广泛接受并可以广泛适用的城市水安全指标体系是城市水安全综合评价研究的基础工作。

2.3 评价方法研究概况

Weiwei Shao 等^[14]研究了黄河盆地近况后在考虑水资源的弹性限制条件下，评价水资源的地区分配以及水资源的短缺问题。

崔振才，田文苓^[15]等根据可持续发展的理论，提出了水资源持续利用的评价指标以及综合评价方法——模糊优选模型；他们将这一模型用于研究水力发电站，得出了这一模型可以为面向可持续发展的水资源开发利用规划提供一条可行途径的结论。夏军^[16-17]等认为，在水安全问题当中，水资源安全是最为重要的一个方面，因而可以利用水资源承载力对水资源安全进行度量。而水资源承载力的研究，应当在水资源的供需平衡分析的基础上进行，故夏军等基于水资源承载力的定义和水资源承载力系统关系，分析了水资源承载力的度量与计算方法，并进

删除的内容：(2003)

删除的内容：(2004)

删除的内容：(2008)

删除的内容：(2008)

删除的内容：(2009)

删除的内容：(2000)

删除的内容：(2004)

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库